

鼎湖山针阔叶混交林生态系统水文过程研究

尹光彩^{1, 2}, 周国逸², 王旭^{2*}

1. 广东工业大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510090; 2. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650

摘要:以鼎湖山针阔叶混交林(以下简称混交林)生态系统为研究对象,探讨了不同降水特征下森林生态系统水文过程,主要研究结果如下:(1)不同的降雨特征决定了不同的降雨过程和穿透雨过程,混交林生态系统穿透雨累积增加曲线与降水量的累积增加曲线变化是同步的;(2)2002年7月27日—28日特大暴雨最大降水量、最大穿透雨量分别为122.8 mm和104.9 mm,且穿透雨最大值出现的时间滞后于降水强度最大值出现的时间1 h;(3)8月18日—20日特大暴雨,穿透雨量累积增加曲线与大气降水的累积增加曲线非常相似,且穿透雨最大值出现的时间略滞后与大气降水最大值出现的时间;(4)中雨时降水累积量达到最大值(59.6 mm)与穿透雨累积量达到最大值(43.6 mm)的时间一致;(5)树干流和地表径流量与大气降水量的累积变化曲线并不是完全同步的,在一定的降水量范围内,树干流量和地表径流量随着大气降水量的增加而增加;(6)无论是特大暴雨还是中雨发生时,即使在特大暴雨影响下,树干流(2.3~16.4 mm)和地表径流(1.6~8.8 mm)量都很小,系统具有很强的保水保墒能力;(7)混交林穿透雨强度变化过程基本取决于大气降水强度变化,树干流强度和地表径流强度数值很小且变化过程不明显。

关键词:针阔叶混交林生态系统;水文过程;鼎湖山

中图分类号:Q948.112⁺.3

文献标识码:A

文章编号:1672-2175(2005)04-0473-05

在生态环境保护备受广泛关注的今天,人们越来越认识到与自然生态系统协调共处对环境可持续发展的重要性,在自然生态系统与人类的众多复杂关系中,水是最活跃和最具决定性的纽带,区域水文过程的变化不可避免地对区域生态环境体系产生影响,而区域生态环境的变化,尤其是植被生态系统的变化,将势必对区域水文过程产生作用,这正是水循环的生物学方面(BAHC)计划的核心所在^[1],近年来,生态系统中水的储存和运移过程日益受到重视,从微观的个体植物水分生理与生长的关系研究,发展到关注区域水文循环过程对群落演替与生态过程关系的研究。

森林生态系统是一个内部结构和功能错综复杂的系统,系统中的水分循环是维持系统中有机物质生产的基本功能之一^[2]。降落到森林流域的雨水,首先遇到林冠并产生林冠截留,林冠是雨水进入森林流域的第一个活动层,林冠截留使一部分降雨不能到达地表,并经过蒸发返回到大气中;另外一部分雨水则通过林冠形成林内净降水:穿透雨和树干流,这是第二个活动层;林内净降水到达地面形成地表径流和地下径流,这是第三个活动层。不少学者对这些水文过程的水量进行了较多的研究

和报导^[3],很少有对这些水文分量的变化强度进行研究^[4]。本文以实测数据为依据,分析森林对大气降水再分配过程中各水文分量的强度变化。

在过去的研究中,台风对森林生态系统水循环的影响研究是个薄弱环节或空白^[5]。混交林生态系统由于受亚热带季风气候的影响,尤其是台风暴雨频繁,具有高温、高湿、多雨的特点,干湿季明显,形成了丰富的光、热、水资源,但历时短强度大的特大暴雨可能会导致水文过程的改变,从而产生大的地表径流造成水土流失,甚至形成洪涝、崩塌、滑坡等自然灾害,因此,本文选取几场特大的暴雨(其中一场降水强度大且历时短;另外一场降水量大,但降水强度小,历时长)和一场中雨来分析混交林生态系统水文过程,为一定时空尺度上生态过程与水文过程的耦合演进规律及其成因研究,以及探求可协调的生态水文模式,实现可持续的水资源管理提供理论依据。

1 试验地概况和研究方法

1.1 试验地概况

鼎湖山自然保护区位于广东省肇庆市境内(东经112°34',北纬23°10'),地处南亚热带。保护区总面积1155 ha,属低山丘陵区,有几列东北-西

基金项目:中国科学院知识创新项目(KSCX2-SW-120, KZCX1-SW-01-01A3);广东省基金项目(010567);广东工业大学校博士基金项目(043027)

作者简介:尹光彩(1973-),女,讲师,博士,主要从事生态系统生态学和环境生态学方面的研究。E-mail: gcyin@scbg.ac.cn

*通讯作者, E-mail: wxdick@scbg.ac.cn

收稿日期:2005-01-05

南走向的山脉和相间的谷地组成。北列鸡笼山为最高峰 (海拔 1000.3 m); 南列鼎湖山 (三宝峰), 海拔 491.3 m。地势由西北向东南倾斜。自鸡笼山向东南经石仔岭、三宝峰、旱坑顶至鼎湖坑口平地相距约 4.4 km, 海拔降至 8 m 左右。山体密集, 平均坡度 30°~45°, 相对高度 100 m~900 m, 水热状况垂直变化明显。由于地形起伏大, 坡度陡峻, 多悬崖峭壁, 土壤易受冲刷, 土层浅薄。

鼎湖山植被在垂直梯度上, 从低到高依次分布有溪边林、沟谷常绿阔叶林、季风常绿阔叶林、常绿阔叶林、山地灌丛草坡。在水平梯度上, 从保护区外围 (过渡区) 经过缓冲区到核心区这个人干扰梯度上, 依次分布着鼎湖山的不同演替序列: 针叶林、针阔叶混交林和季风常绿阔叶林。

针阔叶混交林是鼎湖山面积最大的植被类型, 多由上世纪 50 年代初种植的马尾松林 (*Pinus massoniana*) 在自然保护状态下演替而来。乔木层主要由锥栗、荷木和马尾松组成, 上层覆盖比较稀疏, 灌木层和草本层以及苗木层中既有耐阴的种类, 也有阳生种类。

本研究试验样地位于缓冲区内, 先锋树种为马尾松, 后来因阔叶树种入侵而形成针阔混交林。坡向南, 海拔约 250 m, 坡度 30°, 土壤为砂质壤土, 土层厚薄不均, 表土有机质含量 2.94%~4.27%, 有近 70~80 年的历史^[6]。

1.2 研究方法

在鼎湖山针阔混交林 II 号样地内, 选取一个具有代表性的区域, 人为地分隔成三个矩形 (5 m × 10 m) 的径流场, 四边用铁板作挡水墙, 铁板埋入地下 30 cm, 出露地表部分高 20 cm, 每个径流场下方都设有宽 20 cm 的沉沙槽, 中间有引流槽, 出口为径流池 I, II, III (1 m × 1 m × 1 m), 池内设静水装置, 池上方安装 SW40 型日记水位计, 做地表径流水位高度的自动记录。

在混交林 II 号样地外开阔地段设置一虹吸式自

记雨量计和标准雨量桶, 同步测定大气降水。

在标准样地内放置四根条状承雨槽收集, 承雨槽用两根长 4 m、内径 200 mm 的 PVC 排水管剖开做成, 槽口平面距地面约 80 cm, 将收集的水用一根导水管导入三角堰式的集水装置中, 用自记水位计记录降雨过程中穿透水的变化过程。

根据样地林分调查结果, 按重要值和茎级选标准木, 加权计算各茎级和林分的树干流。根据样地林分调查的结果, 选择标准树 5 株 (锥栗和荷木各 2 株, 马尾松 1 株), 在树干约 1.3 m 处用一端剖开的内径 2~6 cm 聚乙烯管, 粘绕样树, 固定并用橡皮泥封严胶管和树干之间的空隙, 环绕树干的聚乙烯管与水平面间有 30°左右的倾角, 便于水分流下, 然后用胶管引出至有密封口的聚乙烯桶, 雨后测量。按每株树的树冠投影面积换算成单位面积的树干流量。

2 研究结果

2.1 雨情

2002 年 7 月 27 日—28 日特大暴雨: 27 日 8 时开始降水, 初始雨强小, 9 时水量剧增, 一直持续到 10 时; 10—17 时, 降水量增加很小, 累积雨量曲线趋于平缓, 降水中断; 17 时, 降水量再次猛增, 降水累积曲线陡峻, 18 时降水结束, 此时降水量达到 122.8 mm (图 1A)。降雨强度的大小反映了降雨能量的多寡, 对水土流失起着很大的作用。在此期间, 形成三个降水高峰: 9 时、10 时和 18 时, 降水强度分别达到 30.9 mm/h、32.3 mm/h 和 48.4 mm/h (图 2A)。

2002 年 8 月 18 日—20 日特大暴雨: 此次降水强度较前次降水小, 但历时长, 且为连续性降水。18 日 15 时开始发生降雨, 尔后一直持续均匀递增, 直到 8 月 20 日 8 时降水量达到 253.1 mm, 降水累积曲线呈匀速上升趋势 (图 1B)。降水强度则呈多峰型, 最大雨强为 41.4 mm/h (图 2B)。

2002 年 10 月 29 日—30 日中雨: 降水从 29 日

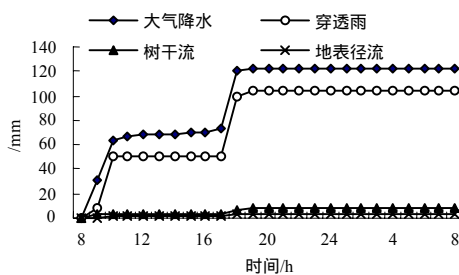


图 1A: 2002 年 7 月 27 日 8 时~28 日 8 时

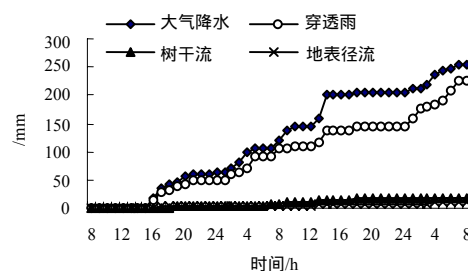


图 1B: 2002 年 8 月 18 日 8 时~20 日 8 时

图 1 特大暴雨时鼎湖山混交林各水文分量数量累积曲线

Fig. 1 Accumulative curve of hydrological parameters on heavy storm days for mixed forest in Dinghushan

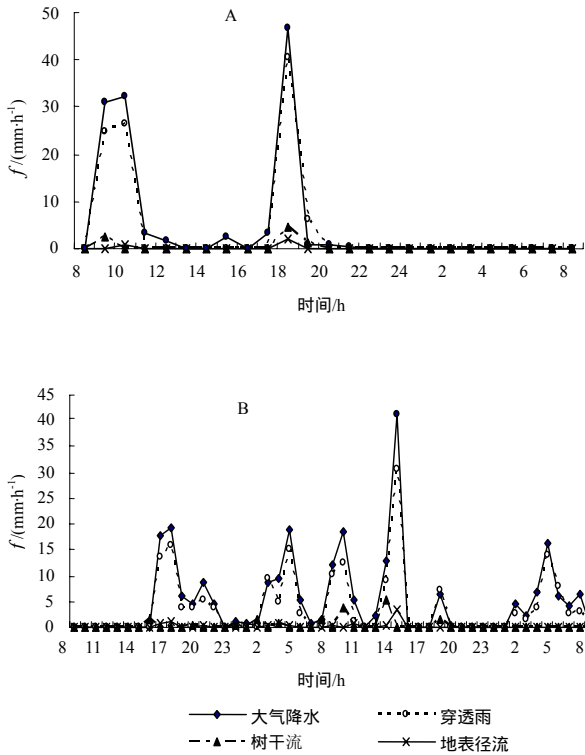


图2 特大暴雨时鼎湖山混交林各水文分量强度变化

Fig. 2 The intensity of precipitation, throughfall, stemflow and surface runoff on heavy storm days for mixed forest in Dinghushan

上午9时开始，一直持续到次日上午8时，总降水量为59.6 mm，降雨累积曲线缓慢递增（图3），降雨强度呈多峰型，最大降雨强度为14.8 mm/h，出现在10月30日3时（图4）。

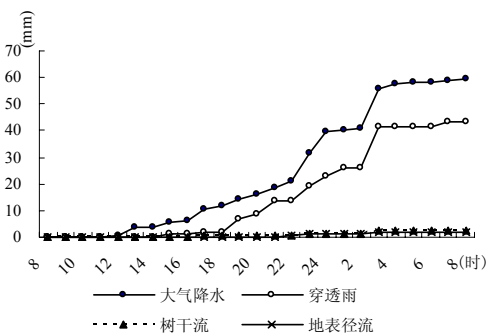


图3 中雨时（2002年10月29日8时—30日8时）鼎湖山混交林各水文分量累积曲线变化

Fig. 3 Accumulative curves of precipitation, throughfall, stemflow and surface runoff on rainy day of middle levels (from 8 O'clock on October 29 to 8 O'clock on October 30, 2002) for mixed forest in Dinghushan

2.2 特大暴雨时穿透雨量、树干流量和地表径流量

2002年7月27日—28日，混交林穿透雨数量累积曲线与大气降水数量累积曲线变化趋势一致，

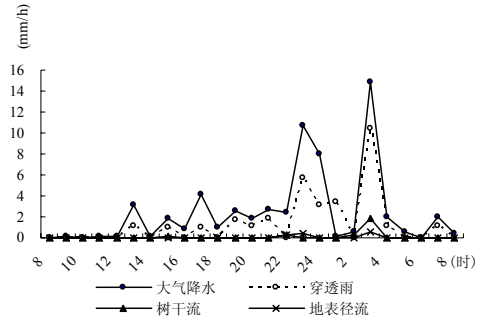


图4 中雨时（2002年10月29日8时—30日8时）鼎湖山混交林各水文分量强度变化过程

Fig. 4 Intensity of precipitation, throughfall, stemflow and surface runoff on rainy day of middle levels (from 8 O'clock on October 29 to 8 O'clock on October 30, 2002) for mixed forest in Dinghushan

有两次较大的递增过程：8时—10时和17时—18时，穿透雨增量分别为50.3 mm和48.4 mm，当降水量达到最大值后，尽管降水过程结束，但穿透雨量增长仍持续一段时间，27日19时达到最大值104.9 mm（图1A），这主要是由于林冠蓄水饱和后，间接穿透雨还会持续一段时间。树干流量和地表径流量很小，均只出现一次峰值，分别为7.0 mm和3.3 mm（图1A）。

2002年8月18日—20日，大气降水累积曲线从8月18日15时开始累积增加，一直到8月20日8时达到最大值（253.1 mm）。从8月18日8时—19日8时穿透雨累积曲线逼近降水量累积曲线；从19日8时—20日0时，随着降水量的缓慢增加，穿透雨累积曲线趋于平缓；20日0时—20日8时，穿透雨随着大气降水的增加而迅速增加。在一定的降水量范围内，树干流量和地表径流量随着降水量的增加递增，二者最大值均出现在8月19日18时，分别为16.4 mm和8.8 mm，此后尽管大气降水继续增加，但树干流和地表径流量均无明显变化（图1B）。

由此可见，特大暴雨时，穿透雨累积增加曲线与降水量的累积增加曲线变化是同步的，不同的降雨特征决定不同的降雨过程和穿透雨变化过程，树干流和地表径流量与大气降水量的累积变化曲线并不是完全同步的，且树干流量和地表径流量均很小。

2.3 特大暴雨时穿透雨强度、树干流强度和地表径流量强度

2002年7月27日8时—7月28日8时，大气降水强度呈双峰曲线（图2A），8月18日8时—8月20日8时的大气降水过程非常复杂，呈多峰曲线（图2B）。从图2可知，其它水文分量强度变化过程曲线线性非常相似，瞬时流量变化基本上取决

于大气降水强度, 穿透雨强度变化过程尤其明显, 树干流和地表径流由于流量很小, 而且受其它因素影响, 所以其强度变化过程曲线不如穿透雨明显。这也说明了, 即使在特大暴雨影响下, 混交林生态系统地表径流强度仍然非常小, 系统具有很强的保水保墒的能力。

2.4 中雨时穿透雨量、树干流量、地表径流量

图3为中雨时混交林各水文分量的累积曲线, 穿透雨累积曲线也与降水量累积曲线相似, 穿透雨量随降水量的增加而增加, 当降水累积量达到最大值(59.6 mm)时, 穿透雨累积量也最大(43.6 mm)。树干流和地表径流量在10月30日3时达到最大值, 分别为2.3 mm和1.6 mm, 此后树干流和地表径流基本无变化。

2.5 中雨时穿透雨强度、树干流强度和地表径流强度

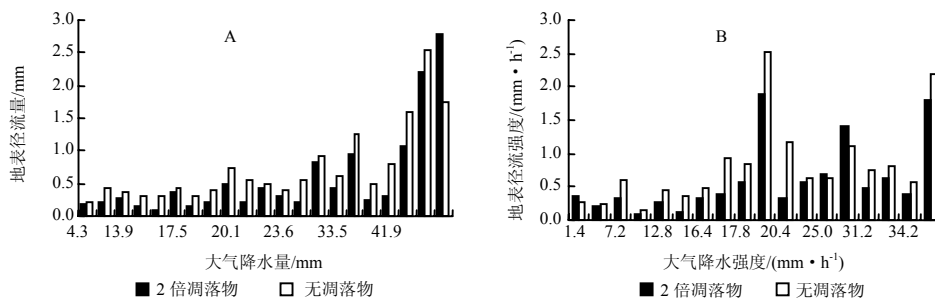
图4显示了中雨时各水文分量强度变化过程, 呈多峰型, 穿透雨强度变化与大气降水强度变化基本同步, 但同一时刻穿透雨强度要远远小于大气降水强度。树干流和地表径流强度最大值也是出现在10月30日3时, 分别为1.8 mm和0.5 mm。

3 讨论

森林产流问题长期备受关注, 一般林地地表径流量很小, 本文也证实了这一点, 与该群落前期演替阶段马尾松纯林相比^[7], 混交林生态系统地表径

流量要小得多。这意味着森林生态系统水文要素的恢复可能要快于其它要素的恢复。也有研究表明: 混交林有较大的降雨调蓄作用, 使径流过程趋于平缓, 而桉树林和裸地对降水的调蓄作用很小^[8]。这就要求我们在营造不同目的林分时慎重研究, 在营林布局上应营造物种多样性更为丰富的混交林, 以增加系统的稳定性。

水文要素是评价森林生态系统健康的重要指标之一^[9], 森林生态系统各水文分量强度变化过程受降雨量、降雨强度、前期降水条件、森林状况等诸多因素的制约。从所选择的几场典型降水情况来看, 无论是特大暴雨还是中雨时, 穿透雨强度变化基本与大气降水强度变化同步, 但穿透雨强度变化幅度要远小于大气降水强度。地表径流量和径流强度很小, 这可能与良好的林下植被覆盖大大减小了地表径流量有关, 图5反映了鼎湖山针阔叶混交林生态系统2倍现存凋落物厚度时林地地表径流量和径流强度要远远小于无凋落物覆盖时地表径流量和径流强度。此外, 地表径流强度还与凋落物和土壤的持水能力有关, 周永文等^[10]的研究也发现不同林分林地凋落物和土壤持水功能差别很大。由此可见, 良好的森林结构才能充分发挥森林的理水功能, 同时, 保护好现有的林下植被和地表凋落物是维持森林理水功能的一种行之有效的办法。



A: 地表径流量; B: 地表径流强度

A: The amount of surface runoff; B: The intensity of surface runoff

图5 鼎湖山混交林不同凋落物厚度时林地地表径流量和径流强度比较

Fig. 5 Comparison of the amount and the intensity of the surface runoff for mixed forest in Dinghushan

4 结论

(1) 不同的降雨特征决定了不同的降雨过程和穿透雨过程, 混交林生态系统穿透雨累积增加曲线与降水量的累积增加曲线变化是同步的;

(2) 树干流和地表径流量与大气降水量的累积变化曲线并不是完全同步的, 在一定的降水量范围内, 树干流量和地表径流量随着大气降水量的增加而增加;

(3) 无论是特大暴雨还是中雨发生时, 即使在

特大暴雨影响下, 树干流(2.3~16.4 mm)和地表径流(1.6~8.8 mm)量都很小, 系统具有很强的保水保墒能力;

(4) 混交林穿透雨强度变化过程基本取决于大气降水强度变化, 树干流强度和地表径流强度数值很小且变化过程不明显。

参考文献:

[1] IGBP. IGBP Report 43: Predicting Global Change Impacts on

- Mountain Hydrology and Ecology [R]. IGBP, 1997: 7 - 30.
- [2] 周晓峰. 森林生态系统定位研究(第1集)[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991: 152 - 158.
ZHOU X F. Chinese Forest Ecosystem Research, edition 1, Haerbin: Northeast Forestry University Press.
- [3] 黄承标, 梁宏温. 广西亚热带主要林型的树干茎流[J]. 植物资源与环境, 1994, 3(4): 10-17.
HUANG C B, LIANG H W. Stemflow of main forest types in Guangxi Subtropics[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 1994, 3(4):10-17.
- [4] 杨立文, 李昌哲, 张理宏. 林冠对降雨截留过程的研究[J]. 河北林学院学报, 1995, 10(1); 7-12.
YANG L W, LI C Z, ZHANG L H. A study on interception process of rainfall by forest canopy[J]. Journal of Hebei Forestry College, 1995, 10(1):7-12.
- [5] 周光益, 曾庆波, 黄金, 等. 海南岛尖峰岭热带山地森林集水区径流研究[A]. 见: 林业部科技司编. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994: 439-447.
ZHOU G Y, ZENG Q B, HUANG J, *et al.* A study on the runoff of the tropical forest catchment in Jianfengling, Hainan province[A]. In: Science and Technology Department of Forestry Ministry, ed. Chinese Forestry Ecosystem Research[M]. Haerbin: Northeast Forestry University Press, 1994: 439-447.
- [6] 吴厚水, 邓汉增, 陈华堂, 等. 鼎湖山自然地理特征及其动态分析[J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 1-10.
WU H S, DENG H Z, CHEN H T, *et al.* An analysis on the geography characteristics and their dynamics in Dinghushan[J]. Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Research, 1982, 1: 1-10.
- [7] 莫江明, 方运霆, 冯肇年, 等. 鼎湖山人为干扰下马尾松林水文生态功能[J]. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(2): 99-104.
MO J M, FANG Y T, FENG Z L, *et al.* Ecohydrological functions of a human-disturbed Pinus massoniana forest in Dinghushan Biosphere Reserve[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10(2): 99-104.
- [8] 周国逸, 余作岳, 彭少麟. 小良试验站三种植被类型地表径流效应的对比研究[J]. 热带地理, 1995, 15(4): 306-312.
ZHOU G Y, YU Z Y, PENG S L. Comparative study of surface flow for three types of vegetation in Xiaoliang experimental station [J]. Tropical Geography, 1995, 15(4): 306-312.
- [9] 曾晓舵, 丁常荣, 郑习健. 生态系统健康评价及其问题[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 287-289.
ZENG X T, DING C R, ZHENG X J. Ecosystem health valuation and the existing problems[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(2): 287-289.
- [10] 周永文, 黄文辉, 陈红跃, 等. 不同人工林分枯落物和土壤持水能力研究[J]. 生态环境, 2003, 12(4): 449-451.
ZHOU Y W, HUANG W H, CHEN H Y, *et al.* Water-holding ability of litter and soil in different plantations[J]. Ecology and Environment, 2003, 12(4): 449-451.

The hydrological processes of coniferous and broad-leaved mixed forest ecosystem in Dinghushan

YIN Guang-cai^{1,2}, ZHOU Guo-yi², WANG-Xu²

1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China;

2. South China Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract: Hydrological processes of coniferous and broad-leaved mixed forest ecosystem in Dinghushan were studied in this paper. By observation, we got the following results: (1) The precipitation and throughfall process were mainly related to the characteristics of precipitation, and the accumulative curves of throughfall changed synchronously with the precipitation accumulative curves; (2) The maximum precipitation and throughfall from July 27th to 28th, 2002 year were 122.8 mm and 104.9 mm, respectively, and the maximum throughfall lagged about 1^h behind maximum precipitation intensity; (3) The accumulative curves of precipitation and throughfall from August 18th to 20th, 2002 year, are of the same changing tendency; (4) The precipitation and throughfall reached their maximum values, 59.6 mm and 43.6 mm, respectively, were almost at the same moment; (5) The accumulative curves of the stemflow and surface runoff fluctuated differently. The stemflow and surface runoff increased with the increasing of precipitation for a certain amount of precipitation; (6) The values of stemflow and surface runoff is very low, 2.3~16.4 mm and 1.6~ 8.8 mm inspectively, indicating a powerful capacity of holding water for the mixed forest ecosystem.; (7) The troughfall intensity was dependent upon the precipitation intensity to a great extent, while the stemflow intensity and the runoff intensity values were very low and changed little during the storm.

Key words: coniferous and broad-leaved mixed forest ecosystem; hydrological process; Dinghushan